

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

Requested Patent: JP9036169A

Title: SEMICONDUCTOR ELEMENT AND SEMICONDUCTOR DEVICE ;

Abstracted Patent: JP9036169 ;

Publication Date: 1997-02-07 ;

Inventor(s):

MIZUSAWA YUMI; KIZAKI YUKIO; MORI MIKI; SAITO MASAYUKI; HONMA SOICHI ;

Applicant(s): TOSHIBA CORP ;

Application Number: JP19950181610 19950718 ;

Priority Number(s): ;

IPC Classification: H01L21/60 ;

Equivalents: JP3373701B2 ;

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor element well connected to an aluminum wiring pattern on an insulating board through bumps and a semiconductor device of high connection reliability by a method wherein a gold thin film is formed on the uppermost surface of a bump and prescribed in thickness. **SOLUTION:** A semiconductor element 1 is electrically connected to an aluminum wiring pattern 14 formed on an insulating board 13 through the intermediary of a bump 2, wherein a gold thin film 2/3 to twice as thick as the aluminum wiring pattern 14 is formed on the uppermost surface of the bump 2. For instance, the bump electrode 2 is formed on the surface of the semiconductor element 1, wherein the bump electrode 2 is composed of a main bump layer and a gold thin film formed on the main bump layer. The bump layer 3 of Cu, Ni, or solder is formed as thick as 10 to 30 μ m.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-36169

(43) 公開日 平成9年(1997)2月7日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	片内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/60	3 1 1		H 0 1 L 21/60	3 1 1 Q

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平7-181610

(22) 出願日 平成7年(1995)7月18日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 水澤 由美

神奈川県横浜市磯子区新磯子町33番地 株式会社東芝生産技術研究所内

(72) 発明者 木崎 幸男

神奈川県横浜市磯子区新磯子町33番地 株式会社東芝生産技術研究所内

(72) 発明者 森 三樹

神奈川県横浜市磯子区新磯子町33番地 株式会社東芝生産技術研究所内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

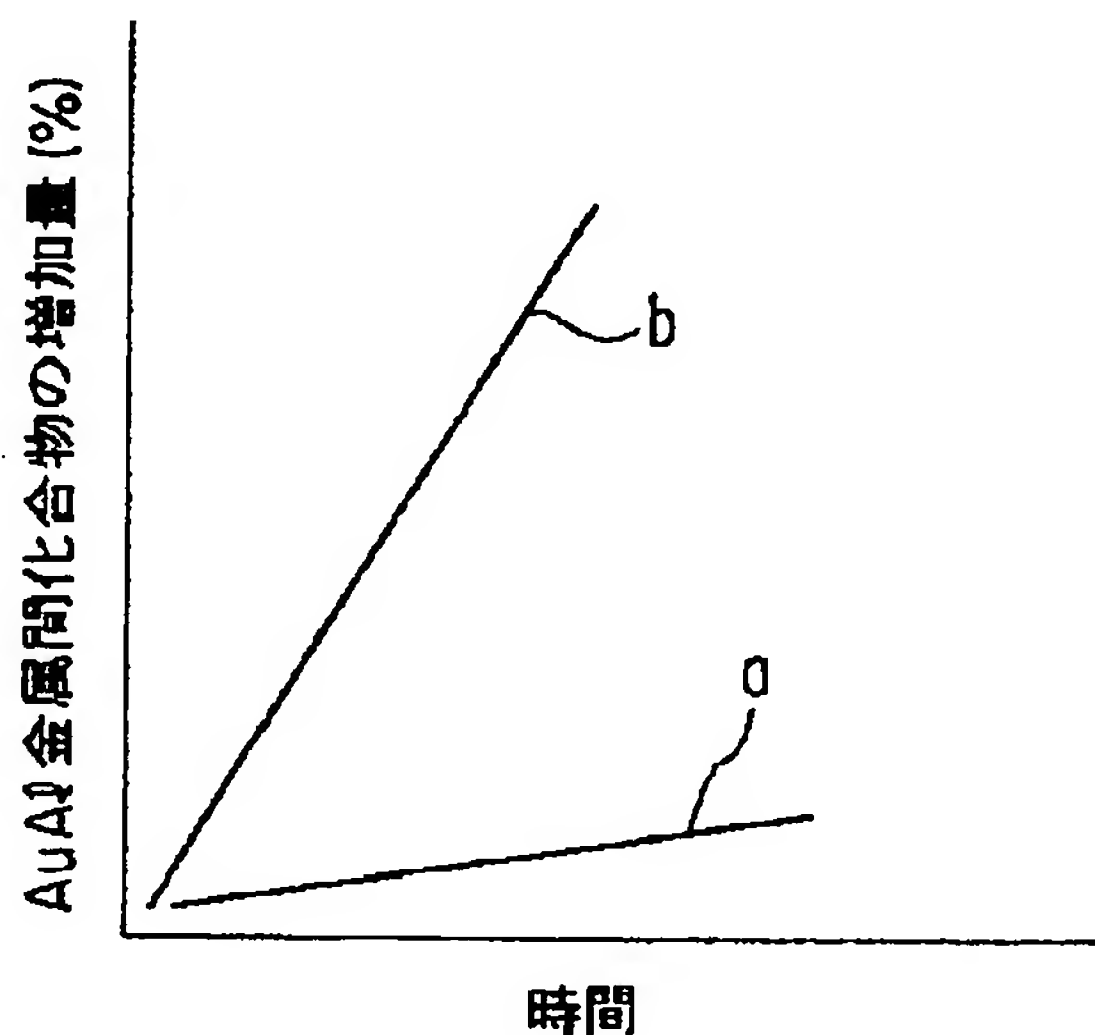
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体素子および半導体装置

(57) 【要約】

【課題】 絶縁基板上のアルミニウム配線パターンに半導体素子がバンプ電極を介して良好に接続され、高い信頼性を有する半導体素子を提供する。

【解決手段】 絶縁基板上に形成されたアルミニウム配線パターンにバンプを介して電氣的に接続される半導体素子である。前記バンプの最表面に金薄膜が形成されており、この金薄膜の厚さは、前記アルミニウム配線パターンの膜厚の2/3倍以上2倍以下であることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 絶縁基板上に形成されたアルミニウム配線パターンにバンプを介して電氣的に接続される半導体素子において、

前記バンプの最表面に金薄膜が形成されており、この金薄膜の厚さは、前記アルミニウム配線パターンの膜厚の2/3倍以上2倍以下であることを特徴とする半導体素子。

【請求項2】 表面にアルミニウム配線パターンが形成された絶縁基板と、この基板上にバンプにより実装された半導体素子を具備し、

前記バンプとアルミニウム配線パターンとの接続部には、固相拡散反応による金属間化合物が生成されており、この金属間化合物は、 $AuAl$ および Au_2Al の少なくとも一方であることを特徴とする半導体装置。

【請求項3】 絶縁基板上に形成されたアルミニウム配線パターンにバンプを介して電氣的に接続される半導体素子であって、

前記バンプの最表面に、固相拡散反応により形成された $Au-Al$ 金属間化合物からなる層が形成されていることを特徴とする半導体素子。

【請求項4】 表面にアルミニウム配線パターンが形成された絶縁基板と、表面層に第1の $Au-Al$ 金属間化合物からなる層を有するバンプを介して前記絶縁基板のアルミニウム配線パターン電氣的に接続された半導体素子とを具備し、

前記アルミニウム配線パターンとバンプとの接触領域には、固相拡散反応により生じた第2の $Au-Al$ 金属間化合物が形成されており、かつ、この領域の下方には、前記固相拡散反応に関与しないアルミニウムからなる領域が存在することを特徴とする半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、バンプを介して基板に実装するための半導体素子、および半導体素子がフェイスダウンボンディングによって基板に実装された半導体装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、半導体素子を配線基板上に実装するに当たっては、ワイヤを用いて電氣的に接続を行なうワイヤボンディング実装が用いられていたが、半導体装置をより薄く、かつ、より高密度に実装する方法が求められている。そこで、このワイヤボンディング実装に代わって、バンプが形成された半導体素子を、配線基板に直接接続し実装するフェイスダウン実装技術が開発されてきている。

【0003】 このフェイスダウン実装は、スーパーコンピュータなどに適用されるハンダバンプを用いたフリップチップ技術や、液晶ディスプレイなどに適用されるCOG (Chip On Glass) 等、用途に応じ

て種々の接続材料および実装方式が提案されている。COG実装の一つの手法としては、半導体素子上に形成された低融点かつ硬度の低いハンダバンプを、基板上の配線パターンに圧接して半導体素子と絶縁基板とを電氣的に接続する方法が挙げられる。しかしながら、この方法は、特開平3-108734号公報に開示されているように、機械的強度が弱いので、信頼性を確保するために最終的に樹脂封止を行なわなければならない。また、基板上の配線パターンがアルミニウム等の強固な酸化膜を形成しやすい金属で形成されている場合には、接続前の配線パターン表面が酸化膜で覆われてしまうので、ハンダバンプを配線パターンに圧接しても、配線パターン表面の酸化膜を十分に破壊することができない。このため、ハンダバンプと配線のアルミニウムとを確実に接続することができず、十分な接続信頼性を得られないという問題があった。

【0004】 ハンダバンプにより半導体素子を配線基板上に実装するための他の方法としては、ハンダバンプを溶解して配線パターンの金属と合金化し、それによって、ハンダバンプと配線パターンとを接続する方法が知られている。しかしながら、この合金化の方法を用いても、アルミニウム等のハンダにぬれにくい金属で配線パターンが形成されている場合には、ハンダバンプと配線パターンとを良好に接続することができなかった。

【0005】 これらの問題点を解決するために、金バンプを介して半導体素子を絶縁基板上のアルミニウム配線パターンに接続する方法が提案されている。この方法によれば、配線パターンを構成するアルミニウムとバンプを構成する金とは、固相拡散によって接合されるので、強固な酸化膜が生じ得るアルミニウムなどで配線パターンが形成されている場合でも、接続部の信頼性をある程度高めることができる。しかしながら、接続不良を完全に避けることはできず、さらに高い信頼性が求められている。

【0006】 固相拡散反応により金バンプとアルミニウム配線とを接続することによって、非常に強固な接続が得られるものの、これに起因して、次のような問題が発生している。まず第1に、半導体素子はバンプを介して非常に強固にアルミニウム配線パターンに接続されているので、素子のリペアのためにこれを取り外そうとするとアルミニウム配線が剥離し、場合によっては基板が割れてしまう。このため、半導体素子をリペアすることができない。第2に、高い信頼性を有する金-アルミニウム金属間化合物を接続部に形成するためには、半導体素子および基板を高温で加熱しなければならない。第3に、リペアが可能となるように、加圧量を減少させたり加熱温度を低くすることによって金およびアルミニウムの拡散を抑制した場合には、平行ずれなどに起因して固相拡散反応が不十分な部分が発生し、全バンプを配線パターンに電氣的に接続することが困難となる。

【0007】このように、従来の金バンプを有する半導体素子をアルミニウム配線パターンに接続した信頼性の高い半導体装置において、半導体素子のリペアを容易に行なうことが求められているにもかかわらず、かかる半導体素子および半導体装置は、未だ得られていないのが現状である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】そこで、本発明は、絶縁基板上のアルミニウム配線パターンに半導体素子がバンプ電極を介して良好に接続される半導体素子、および高い接続信頼性を有する半導体装置を提供することを目的とする。

【0009】また、本発明は、絶縁基板上のアルミニウム配線パターンにバンプ電極を介して良好に接続されるとともに、リペアを容易に行なうことができる半導体素子、および高い接続信頼性を有する半導体装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、第1の発明（請求項1）は、絶縁基板上に形成されたアルミニウム配線パターンにバンプを介して電氣的に接続される半導体素子において、前記バンプの最表面に金薄膜が形成されており、この金薄膜の厚さは、前記アルミニウム配線パターンの膜厚の2/3倍以上2倍以下

であることを特徴とする半導体素子を提供する。

【0011】また、第1の発明（請求項2）は、表面にアルミニウム配線パターンが形成された絶縁基板と、この基板上にバンプにより実装された半導体素子を具備し、前記バンプとアルミニウム配線パターンとの接続部には、固相拡散反応による金属間化合物が生成されており、この金属間化合物は、 $AuAl$ および Au_2Al の少なくとも一方であることを特徴とする半導体装置を提供する。

【0012】以下、第1の発明を説明する。固相拡散反応によって接続されたアルミニウム配線パターンと金バンプとの接続部で発生する不良の原因としては、主として接続部でのクラックの発生が挙げられる。本発明者らは、このクラックの発生および成長を誘発する要因として、 $Au-Al$ の金属間化合物の体積変化に着目し、以下のような検討を行なった。まず、体積変化を見積もるための指標として、結晶格子の単位体積を化合物を形成する前の体積で割った値を体積変化率として定義し、結晶構造と格子定数とから、体積変化率を算出して表1に示した。また、金属間化合物における金組成と体積変化率との関係を図1に示す。

【0013】

【表1】

表 1

	結晶構造	単位 体積 (nm^3)	単位体積に 含む原子数 Al Au	化合物を 作る前の 体積 (nm^3)	体積 変化率 (%)
Al	立方晶 $a=4.05$	0.0664	4 0	0.0664	1.00
$AuAl_2$	立方晶 $a=6.00$	0.216	8 4	0.2010	1.10
$AuAl$	単斜晶 $a=6.41$ $b=3.33$ $c=6.33$ $\beta=93$	0.135	4 4	0.1343	1.00
Au_2Al	正方晶 $a=3.35$ $c=8.89$	0.0998	4 8	0.2022	0.49
Au_5Al_2	六方晶 $a=7.71$ $c=41.9$	6.471	8 20	0.4723	13.70
Au_4Al	立方晶 $a=6.92$	0.331	4 16	0.3380	0.98
Au	立方晶 $a=4.08$	0.0679	0 4	0.0679	1.00

【0014】金とアルミニウムとの固相拡散反応では、アルミニウムよりも金の方が先に拡散する。このため、接続部における金属間化合物は、前記表1に示すように、金組成が小さい化合物の順、すなわち、 $AuAl$ 、 Au_2Al 、 Au_5Al_2 、 Au_4Al

の順に生成する。

【0015】これらの金属間化合物のうち、 Au_5Al_2 が生成される際には、その格子定数が大きいために、図1に示すように著しく大きな体積膨脹過程が存在する。この金属間化合物は、硬く脆い性質を有するため、

初期接続抵抗値は安定した値を示すものの、前述のような体積膨脹過程を経ることによって残留応力が蓄積されている。したがって、熱衝撃などを受けることにより接続部にクラックが発生して接続抵抗値がばらつき、最大抵抗値は初期値の10倍以上にも達してしまう。これらの結果から、安定した接続抵抗値を得るためには、金属間化合物中の Au_5Al_2 の割合を低減するように、金の拡散を抑制することが必要であることがわかる。

【0016】また一方、アルミニウムの量が多く金が少ない場合には、 $AuAl_2$ が形成されるが、この場合には、金がアルミニウム中へ拡散する際に金の供給が間に合わないので、カーケンダルボイドが発生して不良の原因となる。

【0017】このように、 $Au-Al$ 金属間化合物の組成とその体積変化との間には、特定の関係があり、金属間化合物の体積変化を最小にするためには、金-アルミニウム固相拡散反応に関与するそれぞれの金属の量を、所定の範囲内に限定する必要があることがわかった。

【0018】そこで、固相反応に関与する2つの金属膜の膜厚の比を変化させて金属間化合物を生成し、それぞれについて抵抗変化率を調べた。得られた結果を図2のグラフに示す。

【0019】図2には、アルミニウム薄膜の膜厚(t_{Al})と金薄膜の膜厚(t_{Au})との比(t_{Au}/t_{Al})に対して、接続部の初期抵抗値($R_{ini.}$)に対する熱試験実施後の抵抗値(R)の変化率($R/R_{ini.}$)をプロットしたグラフを示す。接続部の抵抗変化率($R/R_{ini.}$)は、膜厚比(t_{Au}/t_{Al})が2/3倍以上2倍以下の範囲内で極めて安定しており、この範囲を越えると、抵抗変化率は急激に増加することが図2のグラフからわかる。

【0020】すなわち、バンプ表面に形成される金薄膜の膜厚を、アルミニウム配線パターンの2/3倍以上2倍以下とすることによって、接続信頼性を向上させることができる。

【0021】このように、第1の発明の半導体素子では、バンプの最表面に所定の膜厚で金薄膜を形成しているので、アルミニウム配線パターンに接続する際には、バンプ電極全体を金で形成した場合と比較して、アルミニウム配線パターン中への金の拡散量を大きく低減することができる。その結果、前記アルミニウム配線パターンへのダメージを減少させて良好な伝送特性が得られ、しかも製造コストの低減にもつながる。

【0022】また、バンプ最表面の金薄膜の膜厚を所定の範囲内に規定したことによって、バンプとアルミニウム配線パターンとの接続部には、不良要因となる $AuAl_2$ および Au_5Al_2 はほとんど形成されない。すなわち、第1の発明の半導体装置においては、バンプとアルミニウム配線パターンとの接続部に生成された金属間化合物は、 $AuAl$ および Au_2Al の少なくとも一方

であるので、安定した初期接続抵抗値が得られる。これらの化合物は、残留応力保持を回避、低減しているため、第1の発明の半導体装置は、熱衝撃などの信頼性試験を行なっても、前述の接続部にクラックが発生せず、試験後の接続抵抗値が初期値からほとんど変化しない。したがって、極めて信頼性の高い半導体装置が得られる。

【0023】第2の発明(請求項3)は、絶縁基板上に形成されたアルミニウム配線パターンにバンプを介して電氣的に接続される半導体素子であって、前記バンプの最表面に、固相拡散反応により形成された $Au-Al$ 金属間化合物からなる層が形成されていることを特徴とする半導体素子を提供する。

【0024】また、第2の発明(請求項4)は、表面にアルミニウム配線パターンが形成された絶縁基板と、表面層に第1の $Au-Al$ 金属間化合物からなる層を有するバンプを介して前記絶縁基板のアルミニウム配線パターンに電氣的に接続された半導体素子とを具備し、前記アルミニウム配線パターンとバンプとの接触領域には、固相拡散反応により形成された第2の $Au-Al$ 金属間化合物が形成されており、かつ、この領域の下方には、前記固相拡散反応に関与しないアルミニウムからなる領域が存在することを特徴とする半導体装置を提供する。

【0025】以下、第2の発明を説明する。第2の発明によれば、金バンプの最表面に、固相拡散反応により得られた $Au-Al$ 金属間化合物層が予め形成されている。この $Au-Al$ 金属間化合物と配線の Al との間においても、固相拡散反応が生じてさらに $Au-Al$ 金属間化合物が形成されるが、新たに形成される $Au-Al$ 金属間化合物の増加する速度は、図3のグラフ中に直線aで示すように極めて遅いものである。なお、図3中には、直線bとして、金とアルミニウムとの固相拡散反応による $Au-Al$ 金属間化合物の増加する速度を示している。すなわち、 $Au-Al$ と Al との拡散速度(直線a)は、 Au と Al との拡散速度(直線b)の1/5程度であることがわかる。

【0026】この $Au-Al$ 金属間化合物と Al とは、アルミニウムの酸化膜が破れるように加圧と加熱とを制御することによって接続することができ、この際に生じる固相拡散反応は前述のように進行が遅いため、強固な接続とはならない。したがって、半導体素子に形成されたバンプと、絶縁基板上のアルミニウム配線パターンとの間にこのような固相拡散反応による金属間化合物を形成することにより、必要に応じて、容易に半導体素子を取り外すことが可能となる。この際、アルミニウム配線が剥離したり、基板が割れてしまう等の不具合は全く生じない。しかも、リペア後は、さらに加圧と加熱とを十分に行なうことによって、強固な接続を得ることが可能である。

【0027】このように、第2の発明の半導体素子にお

いては、バンプの最表面に金-アルミニウム金属間化合物が形成されているので、アルミニウム配線パターンに接続しても反応が遅いために強固な接続とはならない。

【0028】かかる接続を有する第2の発明の半導体装置は、半導体素子が強固に接続されていないので素子を容易にリペアすることが可能であり、しかも高い接続信頼性を有する。また、バンプの最表面の金-アルミニウム金属間化合物と、アルミニウム配線パターンとは、加圧および加熱を十分に行なうことによって、安定な接続が得られる。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の半導体素子および半導体装置を詳細に説明する。

(実施例I) 図4に、第1の発明の半導体素子の一例の断面図を示す。

【0030】図4(a)に示すように、半導体素子1の表面には、バンプ電極2が形成されており、バンプ電極2は、主バンプ層3と、この主バンプ層の上に形成された金薄膜4とから構成されている。なお、主バンプ層3は、例えば、Cu、Ni、またはハンダ等により、約10~30 μ mの厚さで形成することができる。また、金薄膜4は、この半導体素子1が実装される絶縁基板上に形成されているアルミニウム配線パターンの膜厚の2/3倍以上2倍以下の範囲内の膜厚で形成される。

【0031】なお、本発明の半導体素子に形成されるバンプの主バンプ層は、Auにより構成することもできる。この場合には、図4(b)に示すように、金からなる主バンプ層7の表面に、金の拡散を抑制する物質からなる拡散抑制層8を形成し、その上に金薄膜9を形成する。

【0032】金からなる主バンプ層7は、メッキ等によって約10~30 μ mの膜厚で形成することができる。また、金の拡散を抑制する物質としては、例えば、ニッケルおよびパラジウム等が挙げられ、スパッタ蒸着等により形成することができる。なお、この拡散抑制層8の膜厚は、約0.1~0.5 μ mとすることが好ましい。

【0033】なお、上述のバンプが形成された半導体素子を実装するための基板の材質としては、例えば、アルミナ、窒化アルミニウム等のセラミックス、ガラス、樹脂等が挙げられる。このような基板の片面または両面に、Al配線パターンが形成されたサーキットボード等を挙げることができる。両面に配線パターンが形成された回路基板の場合には、その両面の配線パターンがスルーホールにより相互に接続されていてもよい。

【0034】また、Al配線パターンは、下層にモリブデン層等を配置して積層構造とすることができる。モリブデン層は、例えば、スパッタ法、蒸着法等を用いて約30~100nmの膜厚で形成することができ、Al配線は、例えば、スパッタ法、蒸着法等を用いて約0.3~1 μ mの膜厚で形成することができる。

【0035】このアルミニウム配線パターンには、例えば、以下のようにして、半導体素子のバンプ電極を接続することができる。すなわち、半導体素子側を200~500℃に加熱するとともに、アルミナ基板を30~100℃に加熱する。このとき、1バンプ当たり10~200gとなるように半導体素子に荷重をかけつつ、1~30秒間圧接して一度に全てのバンプを接続することにより図5に示す構造の半導体装置が得られる。

【0036】バンプ2とアルミニウム配線パターン14との接続部には、固相拡散反応により金属間化合物が生成され、それによって、バンプ2と配線パターン14とは電気的および機械的に接続される。

【0037】以下、具体例を示して、第1の発明をより詳細に説明する。

(実施例I-1) 半導体素子(5mm×5mm)のアルミニウム電極上に、まず、電気メッキによって、Auからなる主バンプ層を20 μ mの膜厚で形成し、次いで、Pd無電解メッキによって拡散抑制層としてのPd薄膜を0.1 μ mの膜厚で形成した。さらに、Au無電解メッキにより、最表面のAu薄膜を0.3 μ mの膜厚で積層して、図4(b)に示す構造のバンプ電極が形成された半導体素子1を得た。

【0038】なお、半導体素子に形成されるバンプのサイズおよびピッチは、それぞれ50 μ m角および80 μ mとした。上述の半導体素子を実装するための絶縁基板としては、アルミナ基板を使用し、Al配線パターンは、下層にモリブデン層(50nm)が配置された積層構造とした。なお、Al配線パターンの膜厚は0.4 μ mとし、前記モリブデン層およびAl配線パターンは、いずれもスパッタ法によって形成した。

【0039】この絶縁基板に半導体素子を実装するに当たっては、まず、半導体素子側を380℃に加熱するとともに、アルミナ基板を80℃に加熱した。さらに、1バンプ当たり50gの荷重をかけつつ1.5秒間圧接して、一度に全てのバンプを接続した。この接続において、電気的接続不良はなかった。

【0040】得られた半導体装置を熱衝撃試験(-40℃/120℃、30分/30分、1000サイクル)に供し、抵抗値の平均値およびバラツキを図6に示した。なお、サンプル数は、10個とした。図6に示すように、本発明の半導体装置では、1000サイクルの熱衝撃試験に供しても、抵抗値の平均値は0.03 Ω 程度であり、初期値からほとんど変化していない。しかも、抵抗値のバラツキも小さく、0.025 Ω ~0.06 Ω の範囲内であり、極めて安定な電気的接続が得られたことがわかる。

【0041】また、前記バンプ電極とAl配線パターン間の接続断面をSEM(走査型電子顕微鏡)により観察した結果、クラックの発生等の不良は認められなかった。さらに、前記バンプ電極とAl配線パターンとの接

続部分を剥離して、接続部分の固相拡散反応による金属間化合物のX線回折分析を行ない、得られた結果を図7に示す。その結果、接続部の金属間化合物は、 $AuAl$ が主成分であり、接続不良の原因となる $AuAl_2$ および Au_5Al_2 は、ほとんど形成されていないことを確認した。

(実施例I-2) バンプ電極の最表面のAu薄膜を $0.8\mu m$ とし、電気メッキを用いて形成した以外は、前述の実施例(I-1)と同様にして半導体素子を作製し、さらに、前述と同様の絶縁基板に実装して半導体装置を得た。この接続において、電氣的接続不良はなかった。

【0042】得られた半導体装置を熱衝撃試験($-40^\circ C/120^\circ C$ 、30分/30分、1000サイクル)に供し、抵抗値の平均値およびバラツキを図8に示した。なお、サンプル数は、10個とした。図8に示すように、本発明の半導体装置では、1000サイクルの熱衝撃試験に供しても、抵抗値の平均値は 0.03Ω 程度であり、初期値からほとんど変化していない。しかも、抵抗値のバラツキも小さく、 $0.025\Omega\sim 0.06\Omega$ の範囲内であり、極めて安定な電氣的接続が得られたことがわかる。

【0043】また、前記バンプ電極とAl配線パターン間の接続断面をSEM(走査型電子顕微鏡)により観察した結果、クラックの発生等の不良は認められなかった。さらに、前記バンプ電極とAl配線パターンとの接続部分を剥離して、接続部分の固相拡散反応による金属間化合物のX線回折分析を行ない、得られた結果を図9に示す。その結果、接続部の金属間化合物は、 $AuAl$ が主成分であり、接続不良の原因となる $AuAl_2$ および Au_5Al_2 は、ほとんど形成されていないことを確認した。

(実施例I-3) 半導体素子上に形成するバンプ電極を、次のような構成とする以外は、前述の実施例(I-1)と同様にして半導体素子を作製した。すなわち、Cuからなる主バンプ層を電気メッキによって $20\mu m$ の高さで形成し、最表面のAu薄膜をAu無電解メッキにより $0.3\mu m$ の膜厚で形成した。さらに、前述と同様の絶縁基板に実装して半導体装置を得た。この接続において、電氣的接続不良はなかった。

【0044】得られた半導体装置を熱衝撃試験($-40^\circ C/120^\circ C$ 、30分/30分、1000サイクル)に供したところ、前述の実施例(I-1)および(I-2)の場合と同様に、極めて安定な電氣的接続が得られた。

【0045】また、前記バンプ電極とAl配線パターン間の接続断面をSEM(走査型電子顕微鏡)により観察した結果、クラックの発生等の不良は認められなかった。さらに、前記バンプ電極とAl配線パターンとの接続部分を剥離して、接続部分の固相拡散反応による金属間化合物のX線回折分析を行なった結果、前述の実施例

(I-1)および(I-2)の場合と同様に、接続部の金属間化合物は、 $AuAl$ が主成分であり、接続不良の原因となる $AuAl_2$ および Au_5Al_2 は、ほとんど形成されていないことを確認した。

(比較例I-1) バンプ電極を、電気メッキを用いてAu(高さ $20\mu m$)のみで形成して比較例(I-1)の半導体素子を作製した。さらに、前述の実施例(I-1)と同様の絶縁基板に実装して半導体装置を得た。この接続において、電氣的接続不良はなかった。

【0046】得られた半導体装置を熱衝撃試験($-40^\circ C/120^\circ C$ 、30分/30分、1000サイクル)に供し、抵抗値の平均値およびバラツキを図10に示した。なお、サンプル数は10個とした。図10に示すように、Auのみでバンプを形成した場合には、30サイクルで抵抗値が 0.8Ω 程度に増加し、1000サイクルでは、 2.0Ω と、初期値の50倍程度に増加している。このとき、抵抗値のバラツキも $0.03\Omega\sim 6.0\Omega$ と大きく、安定した電氣的接続が得られないことがわかる。

【0047】また、前記バンプ電極とAl配線パターン間の接続断面をSEM(走査型電子顕微鏡)により観察した結果、クラックが発生していることが認められた。さらに、前記バンプ電極とAl配線パターンとの接続部分を剥離して、接続部分の固相拡散反応による金属間化合物のX線回折分析を行ない、得られた結果を図11に示す。その結果、接続部の金属間化合物は、接続不良の原因となる Au_5Al_2 が最も多く生成していることを確認した。

(比較例I-2) バンプ電極の最表面のAu薄膜を $0.2\mu m$ とし、無電解メッキを用いて形成した以外は、前述の実施例(I-1)と同様にして比較例(I-2)の半導体素子を作製し、さらに、前述と同様の絶縁基板に実装して半導体装置を得た。この接続において、電氣的接続不良はなかった。

【0048】得られた半導体装置を熱衝撃試験($-40^\circ C/120^\circ C$ 、30分/30分、1000サイクル)に供したところ、前述の比較例(I-1)の場合と同様に、接続抵抗値が50倍程度増加した。

【0049】また、前記バンプ電極とAl配線パターン間の接続断面をSEM(走査型電子顕微鏡)により観察した結果、接続部にカーケンダルボイドクラックが多数生成していることが認められた。

【0050】さらに、前記バンプ電極とAl配線パターンとの接続部分を剥離して、接続部分の固相拡散反応による金属間化合物のX線回折分析を行なったところ、接続部の金属間化合物は、接続不良の原因となる $AuAl_2$ が最も多く生成していることを確認した。

(実施例II) 図12に、第2の発明の半導体装置の一例である液晶表示素子の断面図を示す。

【0051】図12に示すように、第2の発明の半導体

装置20においては、半導体素子21を基板27のアルミニウム配線パターン29に接続するためのバンプの最表面には、Au-A1金属間化合物層26が形成されている。配線29の表面およびその近傍に存在するアルミニウムのみが、さらなるAu-A1金属間化合物（図示せず）を形成してバンプとの接続に寄与している。配線パターンのより下方にあるアルミニウムは、バンプ表面のAu-A1金属間化合物との固相拡散反応に関与せずに、もとの状態で存在している。

【0052】このように基板に接続される半導体素子は、以下のようにして製造することができる。図13～図16に、第2の発明の半導体素子の製造工程の一例を表わす断面図を示す。

【0053】まず、図13(a)に示すような、アルミニウム電極23上にバリアメタル24を介して金バンプ25が形成された半導体素子を用意する。この金バンプは、例えば、金メッキ、金蒸着等によって形成することができ、バンプサイズ、バンプピッチ、およびバンプ高さは、それぞれ10～300 μ m角、10～300 μ m、および5～50 μ mとすることができる。

【0054】このバンプの最表面にアルミニウムを供給するために、図13(b)のようにAl薄膜をスパッタ法や蒸着法などにより形成したシリコンウェハ30を用意する。Al薄膜の厚さは0.2～1 μ mとすることができる。ここで、図13(c)に示すように、アルミニウム薄膜31を、金バンプ25の径、ピッチ等に合わせ、予めエッチング等により所定の寸法に加工しておいてもよい。

【0055】続いて、図14(a)に示すように、前述のバンプが形成された半導体素子を、前記Al薄膜を形成したシリコンウェハに加圧、加熱して、素子とAl薄膜とをいったん接続する。具体的には、アルミニウム薄膜を形成したシリコンウェハを約30～100℃に加熱するとともに、半導体素子を約200～500℃に加熱する。このとき、1バンプ当たり10～200gとなるように半導体素子に荷重をかけつつ、約1～30秒間圧接する。

【0056】この加熱処理によって、金バンプ25とアルミニウム薄膜31との接触領域には、図14(b)に示すようなAu-A1金属間化合物層26が形成される。なお、Au-A1金属間化合物層の層厚は、加熱温度、時間、および圧力等を変化させることによって適宜選択することができる。

【0057】次に、この半導体素子をシリコンウェハ31から引き剥がすことにより、図15に示すように、最表面にAu-A1金属間化合物層26が形成されたバンプを有する半導体素子を得られる。

【0058】なお、Au-A1金属間化合物層の層厚は、少なくとも0.05 μ m程度であることが好ましく、0.2 μ m以上であることがより好ましい。前述の

ようにして、最表面にAu-A1金属間化合物層が形成されたバンプを有する半導体素子は、例えば、モリブデン層とアルミニウム層との積層構造からなる配線を有するガラス基板に実装することができる。この場合、モリブデン層は、約30～100nmの膜厚で、スパッタ法、蒸着法等により形成することができる。また、アルミニウム層は、約0.3～1 μ mの膜厚で、スパッタ法、蒸着法等により形成することができる。

【0059】このような配線が形成された基板に半導体素子を実装する際には、例えば、フリップチップボンダーなどを用いて接続することができる。接続に当たっては、半導体素子側を200～500℃に加熱するとともに、ガラス基板を30～100℃に加熱し、1バンプ当たり10～200gの荷重をかけながら、1～30秒間圧接して一度に全てのパッドを接続する。

【0060】以上の工程により、図16に示す第2の発明の半導体装置が得られる。なお、ここでは半導体素子を実装するための基板としてガラス基板を使用した。セラミックまたは樹脂基板などに、前述と同様の方法で実装することもできる。

【0061】また、図17に示すように絶縁基板に実装することもでき、さらに、図18に示すように液晶表示素子に応用してもよい。以下、具体例を示して第2の発明をより詳細に説明する。

(実施例II-1) まず、半導体素子(5mm×5mm)のアルミニウム電極の上に、バリアメタルを介して金バンプを形成した。バンプの形成に当たっては、金メッキを用い、バンプサイズは50 μ m角、バンプピッチは80 μ m、バンプ高さは20 μ mとした。

【0062】なお、別途用意したシリコンウェハの表面には、0.3 μ mの厚さで、スパッタ法によりアルミニウム薄膜を形成しておいた。次に、このシリコンウェハを80℃に加熱しつつ、半導体素子を400℃に加熱して、シリコンウェハ表面のアルミニウム薄膜に金バンプを接触させ、さらに、1バンプ当たり50gの荷重をかけながら1.5秒間圧接した。

【0063】その後、半導体素子をシリコンウェハから引き剥がして、金バンプの表面にAu-A1金属間化合物層が形成された第2の発明の半導体素子を得た。なお、表面に形成されたAu-A1金属間化合物層の膜厚は、約0.3 μ mであった。

【0064】得られた半導体素子を、Al配線を有するガラス基板上のパッドにフリップチップボンダーを用いて接続した。なお、基板としては、モリブデン層(50nm)と、アルミニウム層(500nm)との積層構造の配線が形成された基板を用いた。接続に当たっては、半導体素子側を400℃に加熱しつつガラス基板を80℃に加熱し、1バンプ当たり50gの荷重をかけながら1.5秒間圧接して、一度に全てのパッドを接続して半導体装置を得た。この接続において、電氣的接続不良は

なかった。

【0065】得られた半導体装置を、熱衝撃試験（ $-40^{\circ}\text{C}/120^{\circ}\text{C}$ 、30分/30分、1000サイクル）に供して信頼性を調べたところ、1000サイクルでも不良は発生せず、極めて安定な電氣的接続が得られた。

【0066】また、前記バンプとアルミニウム配線との接続断面をSEM（走査型電子顕微鏡）により観察した結果、クラックなどの不良は認められなかった。さらに、このバンプとアルミニウム配線との接続部分を剥離して、接続部分の固相拡散反応による金属間化合物のX線回折分析を行なった。その結果、接続部の金属間化合物は、 AuAl が主成分であり、接続不良の原因となる AuAl_2 および Au_5Al_2 等は、ほとんど形成されておらず、第2の発明の半導体装置は、安定した接続を有することを確認した。

【0067】第2の発明の半導体装置において、リペアを仮定して半導体素子をアルミニウム配線から取り外したところ、アルミニウム配線の剥離や基板の割れは全く起こらず、バンプ表面の $\text{Au}-\text{Al}$ 金属間化合物と、配線を構成するアルミニウムとの界面で剥離することができた。しかも、剥離されたそれぞれの表面は、 Al であった。

【0068】この半導体素子を取り外した配線の同様の領域に、新たな半導体素子を前述と同様の条件で接続した。すなわち、半導体素子側を 400°C に加熱しつつガラス基板を 80°C に加熱し、1バンプ当たり50gの荷重をかけながら1.5秒間圧接して、一度に全てのバッドを接続した。この接続において、電氣的接続不良はなかった。

【0069】この新しい半導体素子を実装した半導体装置を、熱衝撃試験（ $-40^{\circ}\text{C}/120^{\circ}\text{C}$ 、30分/30分、1000サイクル）に供して信頼性を調べたところ、1000サイクルまで不良が発生せず、極めて安定な電氣的接続が得られた。

【0070】また、前記バンプとアルミニウム配線との接続断面をSEM（走査型電子顕微鏡）により観察した結果、クラックなどの不良は認められなかった。さらに、このバンプとアルミニウム配線との接続部分を剥離して、接続部分の固相拡散反応による金属間化合物のX線回折分析を行なった。その結果、接続部の金属間化合物は、 AuAl が主成分であり、接続不良の原因となる AuAl_2 および Au_5Al_2 等は、ほとんど形成されていなかった。したがって、半導体素子をリペアした後でも、第2の発明の半導体装置は、安定した接続を有することを確認した。

（比較例II-1）バンプ電極を、電気メッキを用いて Au （高さ $20\mu\text{m}$ ）のみで形成して比較例（II-1）の半導体素子を作製した。さらに、前述の実施例（II-1）と同様の絶縁基板に実装して図19に示すような半導体装置を得た。この接続において、電氣的接続不良は

なかった。

【0071】得られた半導体装置を熱衝撃試験（ $-40^{\circ}\text{C}/120^{\circ}\text{C}$ 、30分/30分、1000サイクル）に供した。なお、サンプル数は10個とした。その結果、 Au のみでバンプを形成した場合には、30サイクルで抵抗値が 0.8Ω 程度に増加し、1000サイクルでは、 2.0Ω と、初期値の50倍程度に増加した。このとき、抵抗値のバラツキも $0.03\Omega\sim 6.0\Omega$ と大きくなり、安定した電氣的接続が得られないことがわかる。

【0072】また、前記バンプとアルミニウム配線との接続断面をSEM（走査型電子顕微鏡）により観察した結果、クラックが発生していることが認められた。さらに、このバンプとアルミニウム配線との接続部分を剥離して、接続部分の固相拡散反応による金属間化合物のX線回折分析を行なった。その結果、接続部の金属間化合物は、接続不良の原因となる AuAl_2 および Au_5Al_2 が最も多く生成していることを確認した。

【0073】さらに、図19に示すような半導体装置において、リペアを仮定して半導体素子をアルミニウム配線から取り外したところ、アルミニウム配線が剥離し、基板に割れが発生する部分もあった。

【0074】

【発明の効果】以上詳述したように、第1の発明によれば、絶縁基板上のアルミニウム配線パターンにバンプを介して良好に接続される半導体素子、および熱衝撃による接続部のクラックの発生を防止した高信頼性の半導体装置が提供される。

【0075】また、第2の発明によれば、リペアを容易に行なうことができる半導体素子、および高信頼性の半導体装置が提供され、かかる半導体装置は、特に液晶表示装置として有用である。

【図面の簡単な説明】

【図1】金-アルミニウム金属間化合物における金組成と体積変化率との関係を示すグラフ図。

【図2】膜厚比と抵抗変化率との関係を示すグラフ図。

【図3】 $\text{Au}-\text{Al}$ 金属間化合物の増加速度を示すグラフ図。

【図4】第1の発明の半導体素子の一例を示す断面図。

【図5】第1の発明の半導体装置の一例を示す断面図。

【図6】第1の発明の半導体装置における Al 配線パターンとバンプ電極との間の接続部の熱衝撃試験後の電氣的特性を示す特性図。

【図7】第1の発明の半導体装置における Al 配線パターンとバンプ電極との間の接続部分を剥離した後のX線回折分析結果を示す特性図。

【図8】第1の発明の半導体装置における Al 配線パターンとバンプ電極との間の接続部の熱衝撃試験後の電氣的特性を示す特性図。

【図9】第1の発明の半導体装置における Al 配線パタ

ーンとバンプ電極との間の接続部分を剥離した後のX線回折分析結果を示す特性図。

【図10】比較例(I-1)におけるAl配線パターンとバンプ電極間の接続部の熱衝撃試験後の電気的特性を示す特性図。

【図11】比較例(I-1)の半導体装置におけるAl配線パターンとバンプ電極との間の接続部分を剥離した後のX線回折分析結果を示す特性図。

【図12】第2の発明の半導体装置の一例を示す断面図。

【図13】第2の発明の半導体素子の製造工程の一例を示す断面図。

【図14】第2の発明の半導体素子の製造工程の一例を示す断面図。

【図15】第2の発明の半導体素子を示す断面図。

【図16】第2の発明の半導体装置の一例を示す断面図。

【図17】第2の発明の半導体装置の他の例を示す断面図。

【図18】第2の発明の半導体装置の他の例を示す断面図。

【図19】従来の半導体装置の断面図。

【符号の説明】

1…半導体素子, 2…ハンダバンプ, 3…主バンプ層, 4…金薄膜

5…半導体装置, 6…半導体素子, 7…主バンプ層, 8…拡散抑制層

9…金薄膜, 10…ハンダバンプ, 11…半導体装置,

13…絶縁基板

14…アルミニウム配線パターン, 15…半導体装置,

20…半導体装置

21…半導体素子, 22…絶縁膜, 23…アルミニウム電極

24…バリアメタル, 25…金バンプ, 26…Au-Al金属間化合物層

27…ガラス基板, 28…モリブデン層, 29…アルミニウム配線

30…シリコンウェハ, 31…アルミニウム層, 32…半導体素子

33…金バンプ, 34…Au-Al金属間化合物層, 35…絶縁基板

36…アルミニウム配線, 37…半導体素子, 38…金バンプ

39…Au-Al金属間化合物層, 40…ガラス基板,

41…Al配線

42…表示部, 50…半導体装置, 51…半導体素子,

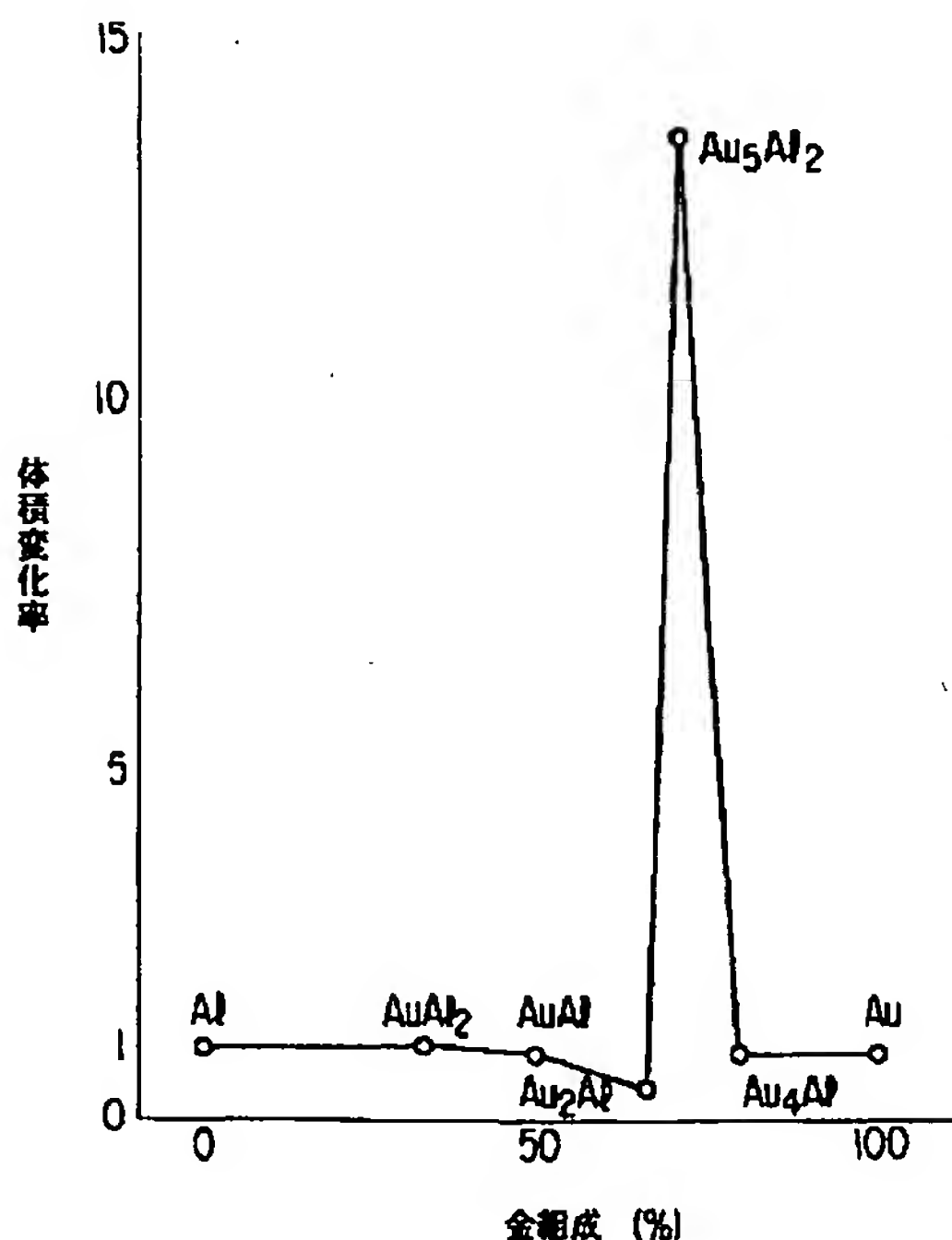
52…Al電極

53…絶縁層, 54…バリアメタル, 55…金バンプ,

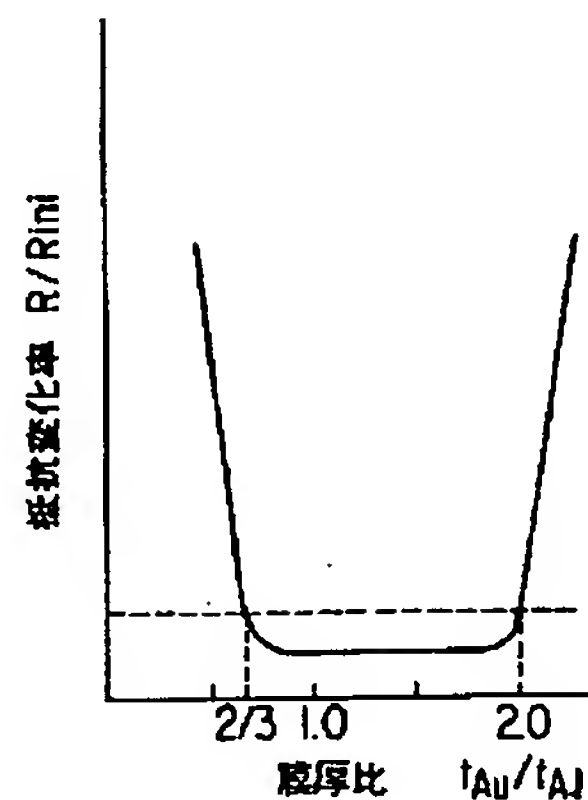
56…ガラス基板

57…モリブデン層, 58…アルミニウム配線。

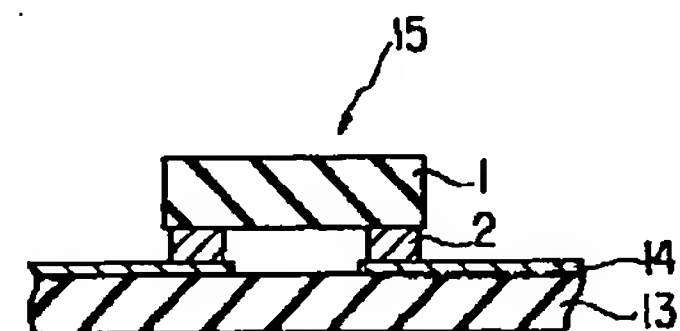
【図1】



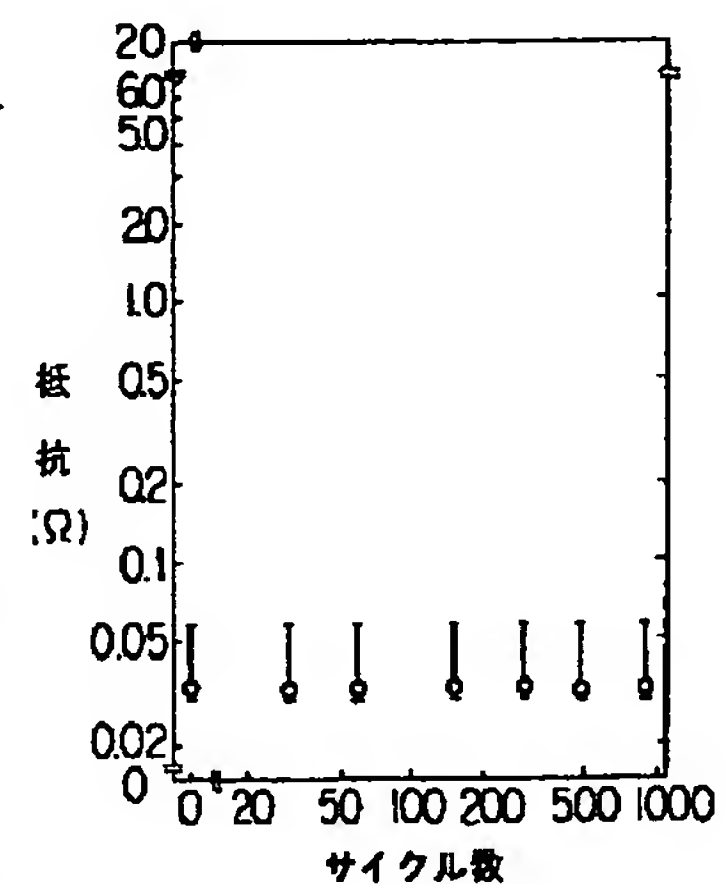
【図2】



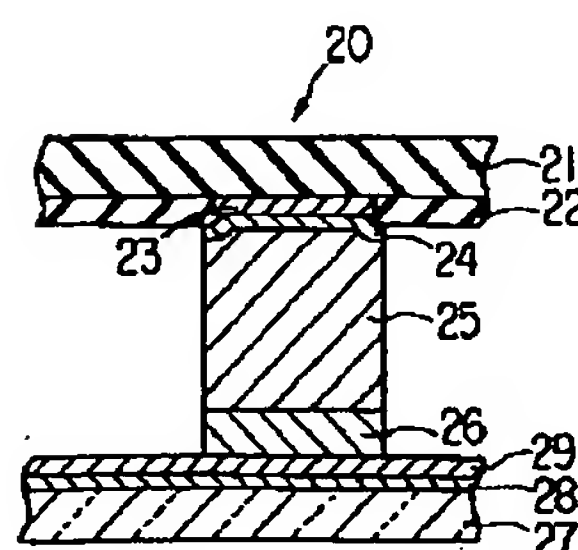
【図5】



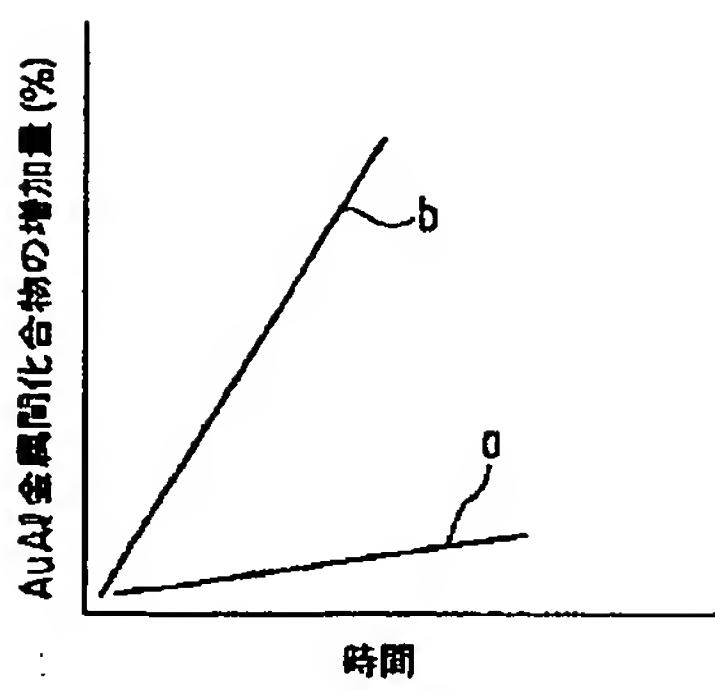
【図6】



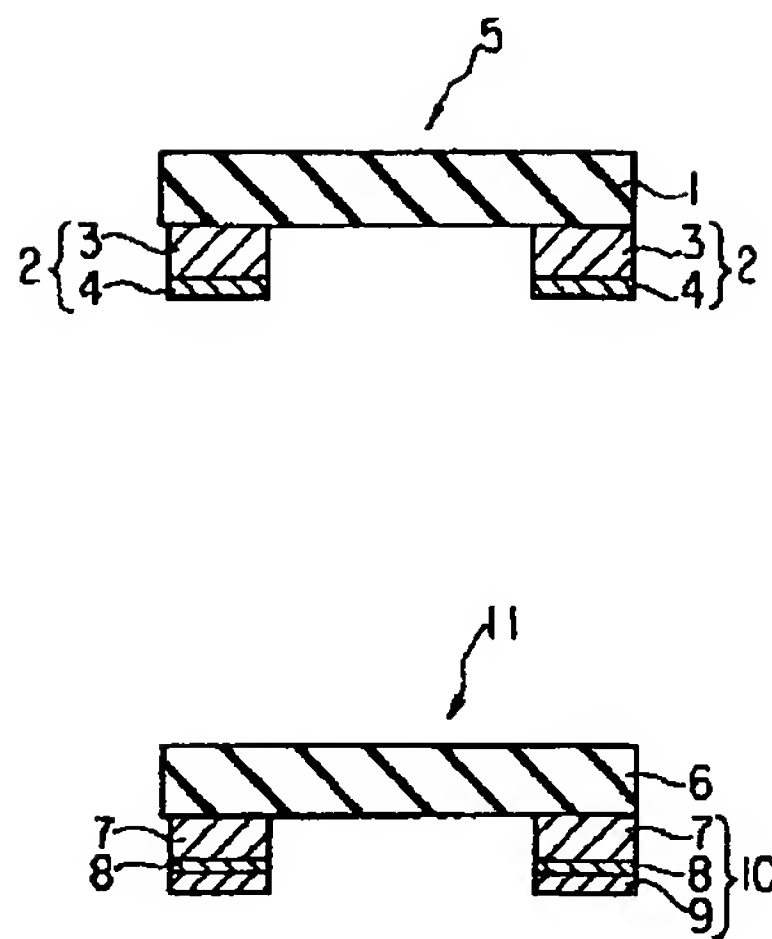
【図12】



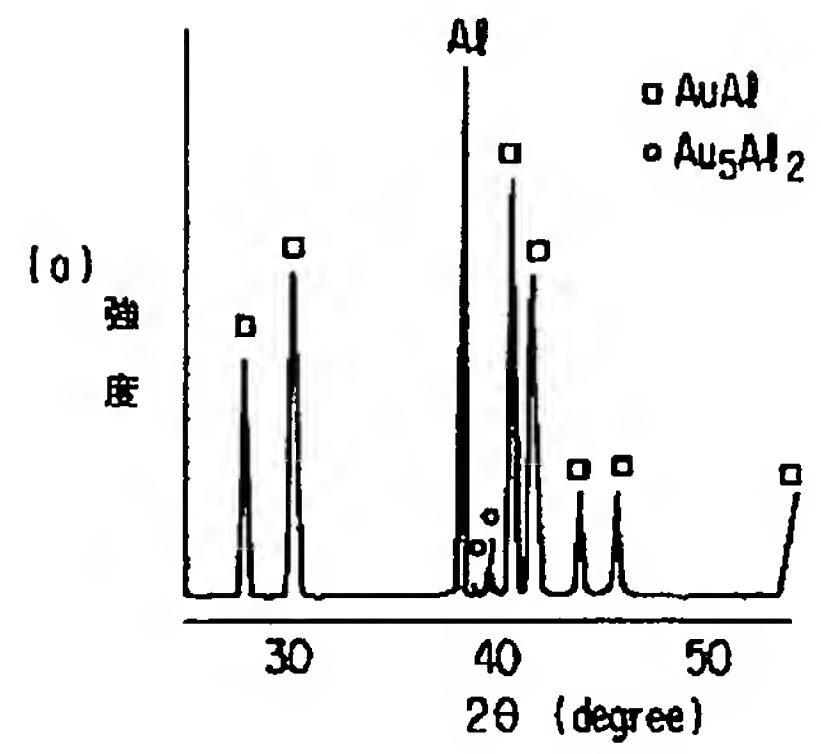
【図3】



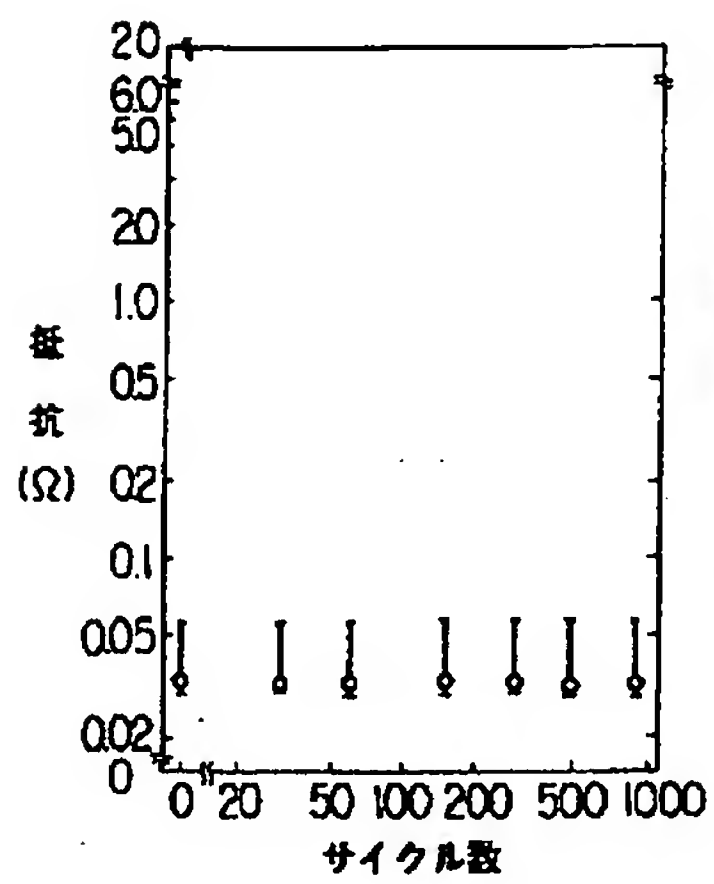
【図4】



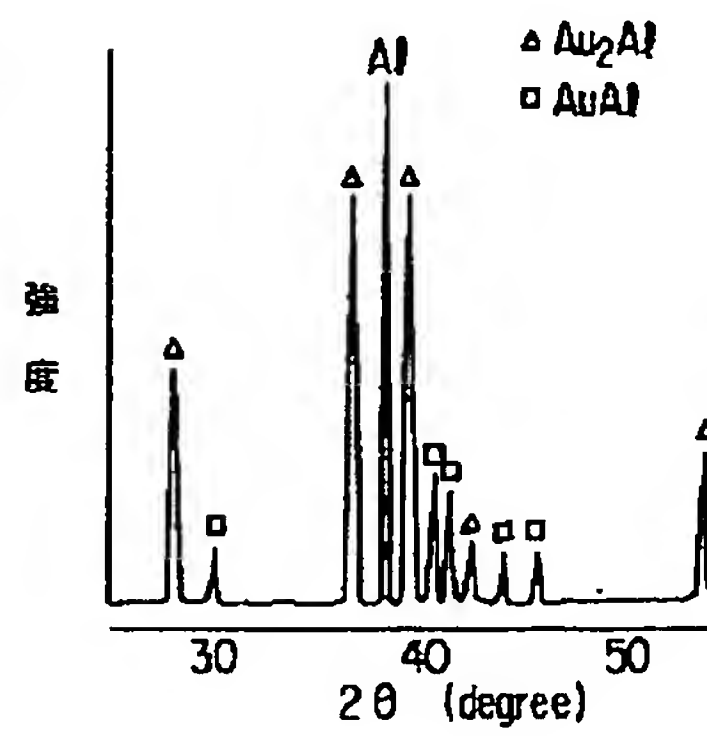
【図7】



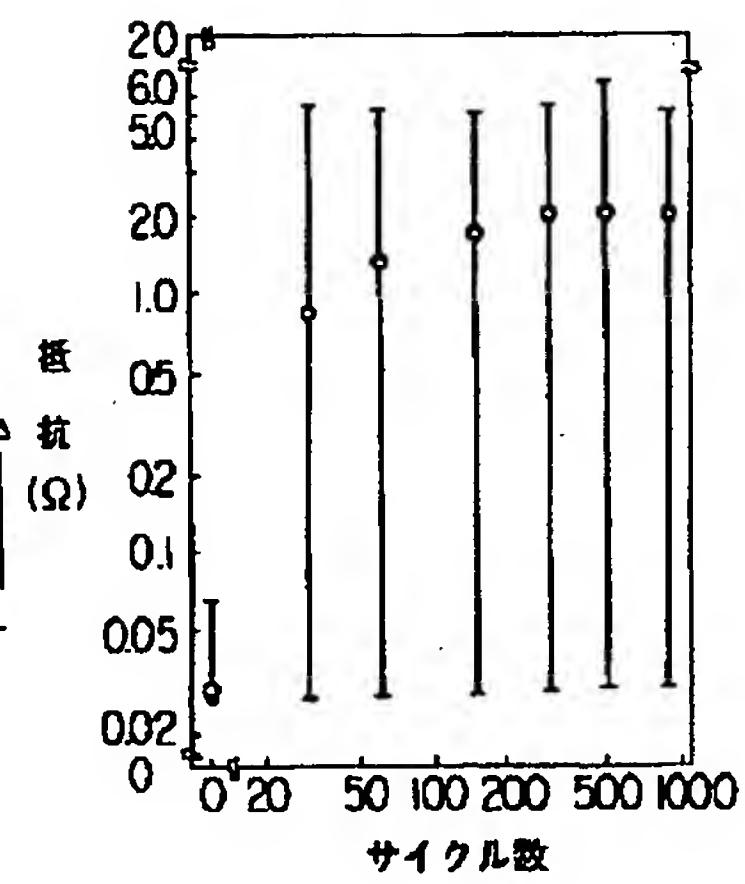
【図8】



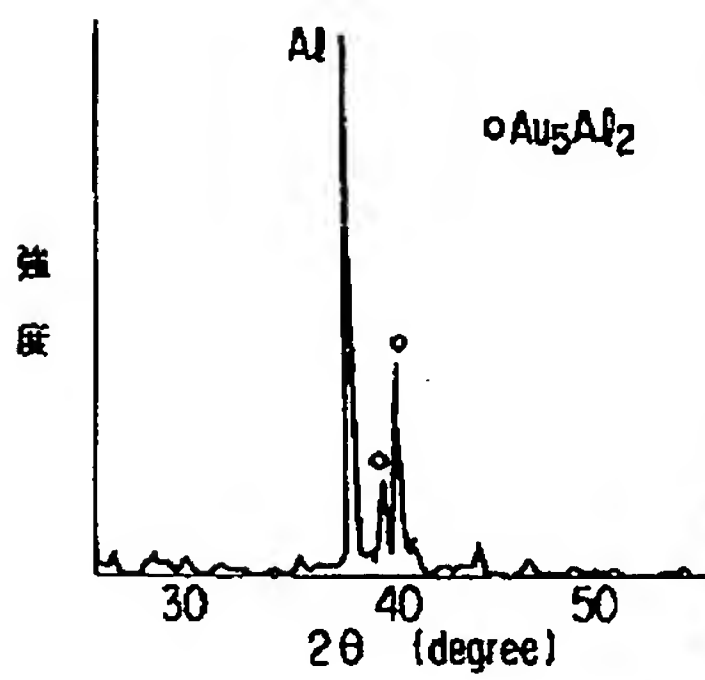
【図9】



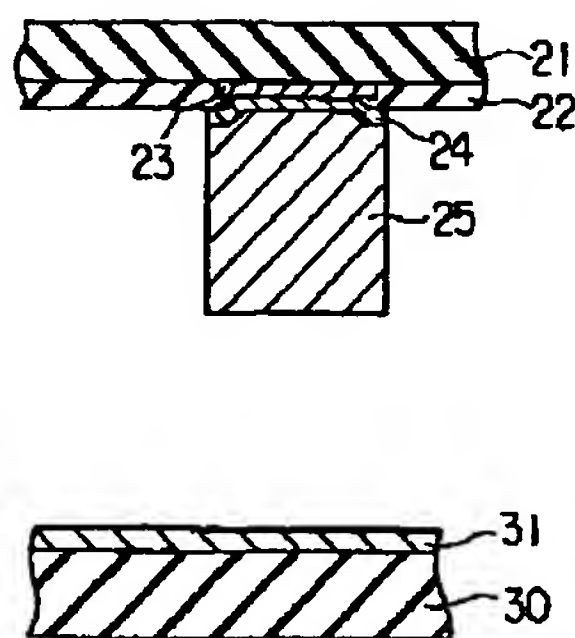
【図10】



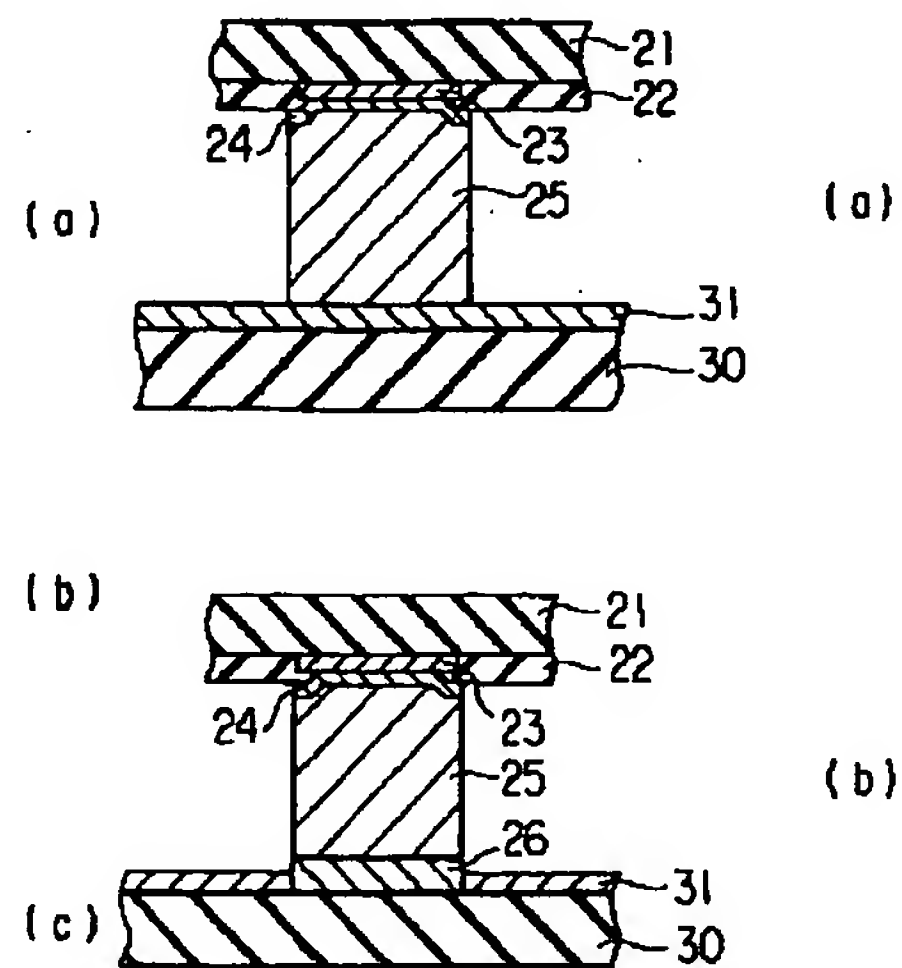
【図11】



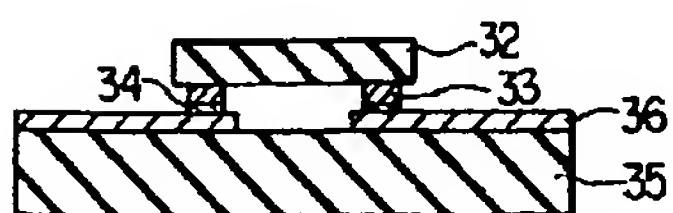
【図13】



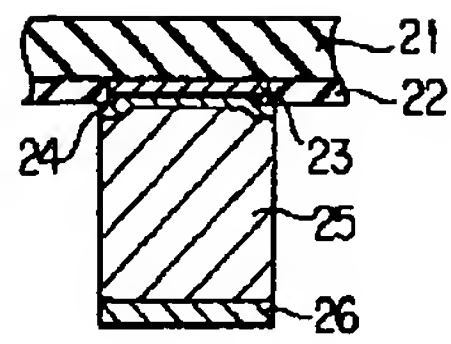
【図14】



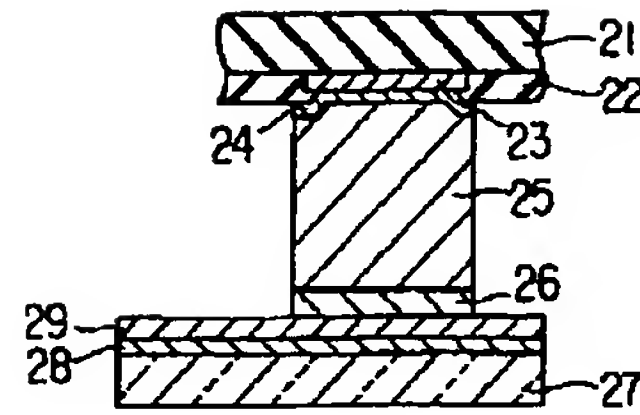
【図17】



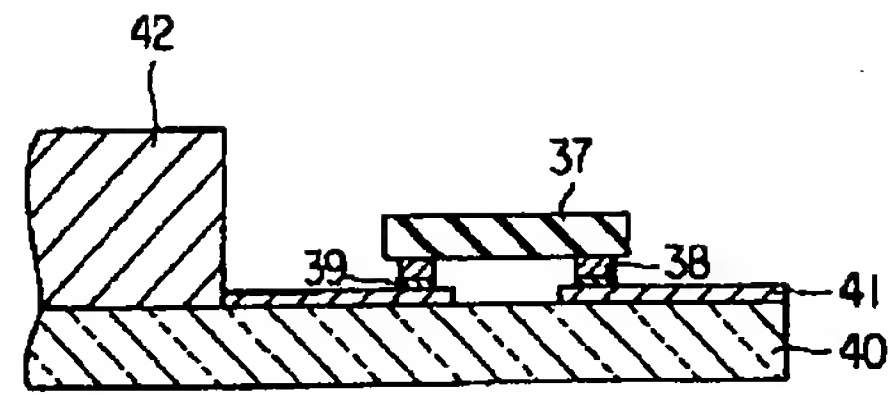
【図15】



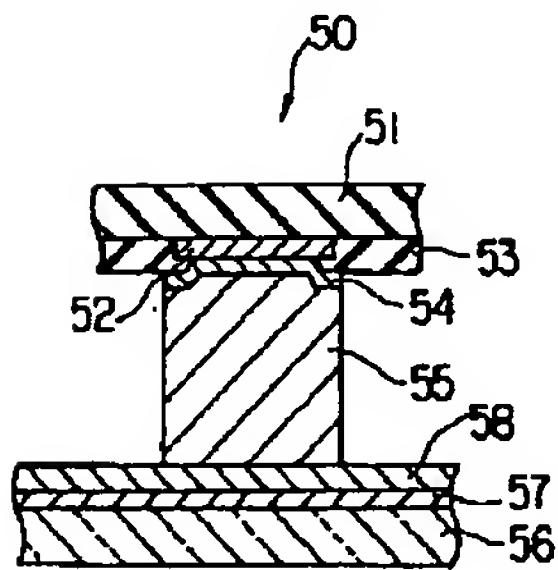
【図16】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

(72)発明者 齊藤 雅之
神奈川県横浜市磯子区新磯子町33番地 株
式会社東芝生産技術研究所内

(72)発明者 本間 莊一
神奈川県横浜市磯子区新磯子町33番地 株
式会社東芝生産技術研究所内